

УДК 621.391.812

## ПРЕИМУЩЕСТВА НОВОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ ПРОЦЕССОРОВ CFAR ПО СРАВНЕНИЮ С МОДЕЛЬЮ НЕЙМАНА-ПИРСОНА ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ФЛУКТУИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЕМЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ХИ-КВАДРАТ С ЧЕТЫРЬМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

М. Б. ЭЛЬ МАШАД

*Университет аль-Азхар,  
Египет, Каир, Насер-Сити*

**Аннотация.** Современные радары «приняты на вооружение» и используют методики адаптивной обработки для ослабления неблагоприятного влияния нежелательных мешающих отражений (clutter) и постановщиков помех (jammer). В такой ситуации алгоритмы обнаружения с постоянной вероятностью ложных тревог CFAR (Constant False Alarm Rate) играют важную роль при обнаружении флуктуирующих целей в неоднородной среде. При этом, хотя процессор с усредненной по ячейке вероятностью ложных тревог CA-CFAR (Cell-Averaging CFAR) имеет лучшие характеристики в однородной среде, методики порядковой статистики OS (Order Statistics) и усеченной по среднему значению TM (Trimmed-Mean) предложены для обеспечения устойчивых оценок порога в условиях неоднородной среды. Для одновременного использования достоинств процессора CA и процессора OS или TM в последнее время предложены их гибридные варианты. Они получили название моделей CAOS и CATM. Практически, частотное разнесение между несвязанными зондированиями широко распространено в реальных радиолокационных системах. Кроме того, стратегия интегрирования импульсов часто используется в радиолокационных системах для повышения отношения сигнал–шум SNR цели и улучшения характеристик обнаружения системы. Поэтому в данной работе основное внимание уделено анализу этих новых моделей в случае, когда радиолокационный приемник некогерентно интегрирует  $M$ -импульсы при обнаружении. Для их рабочих характеристик в условиях неоднородной среды получено выражение в замкнутой форме. Предполагается, что искомая и ложная цели описываются  $\chi^2$  распределением с четырьмя степенями свободы их флуктуаций. Результаты моделирования, полученные авторами, показывают, что новая версия модели CATM демонстрирует рабочую характеристику в условиях однородной среды, которая превосходит таковую для классической процедуры Неймана–Пирсона, используемую в качестве стандартной при сравнении других стратегий в области адаптивных обнаружителей.

**Ключевые слова:** адаптивный процессор; мешающие отражения; клаттер; помеха; распределение хи-квадрат; модель SWIII; модель SWIV; некогерентное интегрирование; среда с групповыми целями

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Радиолокационная станция (РЛС) представляет собой определенный тип систем, которые способны обнаруживать и отслеживать движущиеся или неподвижные цели. В настоящее время, помимо важности РЛС в сфере боевых действий, они также имеют многочислен-

ные гражданские применения, например, управление морским и воздушным движением, метеорология и безопасность автомобильных сообщений. При этом основная функция РЛС состоит в обнаружении объектов в пределах обследуемой территории.

В большинстве случаев, по причине смешивания помеховой составляющей, известной

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Weiner, M. A. "Detection probability for partially correlated chi-square targets," *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, Vol. 24, No. 4, P. 411-416, 1988. DOI: [10.1109/7.7183](https://doi.org/10.1109/7.7183).
2. Barkat, M.; Himonas, S. D.; Varshney, P. K. "CFAR detection for multiple target situations," *IEE Proc. F - Radar Signal Processing*, Vol. 136, No. 5, P. 193-209, 1989. DOI: [10.1049/ip-f-2.1989.0033](https://doi.org/10.1049/ip-f-2.1989.0033).
3. El Mashade, M. B. "Detection performance of the trimmed-mean CFAR processor with noncoherent integration," *IEE Proc. Radar, Sonar Navig.*, Vol. 142, No. 1, P. 18-24, 1995. DOI: [10.1049/ip-rsn:19951626](https://doi.org/10.1049/ip-rsn:19951626).
4. Nagle, Daniel T.; Saniie, Jafar. "Performance analysis of linearly combined order statistic CFAR detectors," *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, Vol. 31, No. 2, P. 522-533, 1995. DOI: [10.1109/7.381903](https://doi.org/10.1109/7.381903).
5. Han, D.-S. "Detection performance of CFAR detectors based on order statistics for partially correlated chi-square targets," *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, Vol. 36, No. 4, P. 1423-1429, 2000. DOI: [10.1109/7.892694](https://doi.org/10.1109/7.892694).
6. Farrouki, A.; Barkat, M. "Automatic censoring CFAR detector based on ordered data variability for nonhomogeneous environments," *IEE Proc. - Radar Sonar Navig.*, Vol. 152, No. 1, P. 43-51, 2005. DOI: [10.1049/ip-rsn:20045006](https://doi.org/10.1049/ip-rsn:20045006).
7. El Mashade, M. B. "Analysis of cell-averaging based detectors for  $\chi^2$  fluctuating targets in multitarget environments," *J. Electron. (China)*, Vol. 23, No. 6, P. 853-863, 2006. DOI: [10.1007/s11767-005-0067-0](https://doi.org/10.1007/s11767-005-0067-0).
8. Laroussi, T.; Barkat, M. "A performance comparison of two time diversity systems using CMLD-CFAR detection for partially-correlated chi-square targets and multiple target situations," *Proc. of 14th European Signal Processing Conf.*, 4-8 Sept. 2006, Florence, Italy. IEEE, 2006, pp. 4-8, URI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7071138>.
9. El Mashade, M. B. "Performance analysis of OS structure of CFAR detectors in fluctuating target environments," *PIER C*, Vol. 2, P. 127-158, 2008. DOI: [10.2528/PIERC08022807](https://doi.org/10.2528/PIERC08022807).
10. Magaz, B.; Belouchrani, A.; Hamadouche, M. "A new adaptive linear combined CFAR detector in presence of interfering targets," *PIER B*, Vol. 34, P. 367-387, 2011. DOI: [10.2528/PIERB11012603](https://doi.org/10.2528/PIERB11012603).
11. Cai, Long; Ma, Xiaochuan; Xu, Qi; Li, Bin; Ren, Shiwei. "Performance analysis of some new CFAR detectors under clutter," *J. Computers*, Vol. 6, No. 6, P. 1278-1285, 2011. DOI: [10.4304/jcp.6.6.1278-1285](https://doi.org/10.4304/jcp.6.6.1278-1285).
12. Wang, W. Q. *Radar Systems: Technology, Principles and Applications*. Nova Science Publishers, Inc, 2013.
13. Ivković, Dejan; Andrić, Milenko; Zrnić, Bojan. "A new model of CFAR detector," *Frequenz*, Vol. 68, No. 3-4, P. 125-136, 2014. DOI: [10.1515/freq-2013-0087](https://doi.org/10.1515/freq-2013-0087).

14. Ivković, Dejan; Andrić, Milenko; Zrnić, Bojan. "False alarm analysis of the CATM-CFAR in presence of clutter edge," *Radioengineering*, Vol. 23, No. 1, P. 66-72, Apr. 2014. URI: [http://www.radioeng.cz/fulltexts/2014/14\\_01\\_0066\\_0072.pdf](http://www.radioeng.cz/fulltexts/2014/14_01_0066_0072.pdf).

15. El Mashade, M. B. "Partially-correlated  $\chi^2$  targets detection analysis of GTM-adaptive processor in the presence of outliers," *Int. J. Image, Graphics Signal Processing*, Vol. 7, No. 12, P. 70-90, 2014. DOI: [10.5815/ijigsp.2014.12.10](https://doi.org/10.5815/ijigsp.2014.12.10).

16. Ivković, Dejan; Andrić, Milenko; Zrnić, Bojan; Okiljević, Predrag; Kozic, Nadica. "CATM-CFAR detector in the receiver of the software defined radar," *Sci. Tech. Rev.*, Vol. 54, No. 4, P. 27-38, 2014. URI: <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad2014/4-2014/3/e3.htm>.

17. Ahmed, S. "Novel noncoherent radar pulse integration to combat noise jamming," *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, Vol. 51, No. 3, P. 2350-2359, 2015. DOI: [10.1109/TAES.2015.140315](https://doi.org/10.1109/TAES.2015.140315).

18. Ivković, Dejan; Andrić, Milenko; Zrnić, Bojan. "Detection of very close targets by fusion CFAR detectors," *Sci. Tech. Rev.*, Vol. 66, No. 3, P. 50-57, 2016. DOI: [10.5937/STR1603050I](https://doi.org/10.5937/STR1603050I).

19. Machado-Fernandez, J. R.; Mojena-Hernandez, N.; Bacallao-Vidal, J. C. "Evaluation of CFAR detectors performance," *Iteckne*, Vol. 14, No. 2, P. 170-178, 2017. DOI: [10.15332/iteckne.v14i2.1772](https://doi.org/10.15332/iteckne.v14i2.1772).

20. Islam, M. M.; Hossam-E-Haider, M. "Detection capability and CFAR loss under fluctuating targets of different Swerling model for various gamma parameters in RADAR," *Int. J. Advanced Computer Science Applications*, Vol. 9, No. 2, P. 90-93, 2018. DOI: [10.14569/IJACSA.2018.090214](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090214).

21. El Mashade, M. B. "Heterogeneous performance analysis of the new model of CFAR detectors for partially-correlated  $\chi^2$ -targets," *J. Systems Engineering Electronics*, Vol. 29, No. 1, P. 1-17, 2018. DOI: [10.21629/JSEE.2018.01.01](https://doi.org/10.21629/JSEE.2018.01.01).

Поступила в редакцию ? По-сле переработки ?